Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 11, No. 4, Winter 2020, p. 399-412

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص. 412-399

اثر فرآیندهای حرارتی تف دادن و اکسترود کردن بر ترکیب شیمیایی، بخش‌های تجزیه پذیری و قابلیت هضم روده‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا به روش کیسه‌های نایلونی

حامد خراسانی[1]، مسلم باشتنی[2*]، علیرضا فروغی[3]، همایون فرهنگ فر[4]، فاطمه گنجی[5]

تاریخ دریافت : 1395/12/23
تاریخ پذیرش: 1397/07/28

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر فرآیندهای حرارتی تف دادن و اکسترود کردن بر ترکیب شیمیایی، بخش‌های تجزیه پذیری و قابلیت هضم روده‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا انجام شد. ترکیب شیمیایی، بخش‌های نیتروژن‌دار، فعالیت اوره‌آز، پروتئین قابل متابولیسم، خصوصیات تجزیه پذیری و قابلیت هضم شکمبه‌ای ـ روده‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل آوری شده تعیین شد. در طی فرآیند اکسترود کردن، دانه سویا به مدت 30-20 ثانیه در دمای 160-150 درجه سانتی‌گراد عمل آوری شد. در فرآیند تف دادن، دانه سویا به مدت 15 دقیقه در دمای 145 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و به مدت 45 دقیقه داخل مخزن نگهدارنده جهت ذخیره سازی حرارتی باقی ماند. فراسنجه‌های تجزیه پذیری نمونه‌ها پس از انکوباسیون به مدت صفر، 2، 4، 8، 16، 24 و 48 ساعت در شکمبه 2 رأس گاو براون سوئیس دارای فیستولا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد فرآیند تف دادن و اکسترود کردن با کاهش میزان رطوبت سبب افزایش درصد ماده خشک دانه سویا گردید اما تغییر محسوسی بر دیگر ترکیبات شیمیایی (پروتئین خام، چربی خام، خاکستر، فیبر نامحلول در شوینده خنثی، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی) دانه سویا نداشت. عمل آوری حرارتی سبب افزایش میزان پروتئین حقیقی دانه سویا شد و میزان نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی دانه سویا را نیز تحت تأثیر قرار نداد. همچنین ممانعت کننده اوره آز دانه سویا غیر فعال شد که در نتیجه سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین روده‌ای گردید و در اثر عمل آوری حرارتی نیز میزان پروتئین قابل متابولیسم دانه سویا به طور معنی داری افزایش یافت. بنابراین فرآیند تف دادن و اکسترود کردن بخش سریع تجزیه و ثابت نرخ تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا را کاهش داد و با کاهش در میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای و افزایش قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا تجزیه پذیری دانه سویا بهبود یافت. بنابراین فرآیندهای حرارتی تف دادن و اکسترود کردن راهبرد مناسبی در کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای دانه سویا و تامین پروتئین عبوری مورد نیاز گاوهای شیری می‌باشد. عمل آوری حرارتی می‌تواند با حفاظت پروتئین دانه سویا از دسترسی میکروب‌ها در شکمبه، روش مؤثری در افزایش بازده استفاده از پروتئین با ارزش دانه سویا باشد.

کلمات کلیدی: اکسترود کردن، پروتئین قابل متابولیسم، تف دادن، دانه سویا، فعالیت اوره‌آز

مقدمه [1]

برای تخمین احتیاجات غذایی نشخوارکنندگان، باید مواد مغذّی و ترکیب بخش‌های مختلف مواد خوراکی شناسایی گردند. مطالعات انجام شده در مورد نیتروژن، به‌خصوص نیتروژن غیرپروتئینی (NPN)، پروتئین حقیقی (TP) و پروتئین خام (CP)، سبب بهبود تخمین احتیاجات حقیقی مورد نیاز نشخواکنندگان گردیده است (9). هدف اصلی از تغذیه پروتئین در گاوهای شیری، تأمین مقدار کافی پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه جهت نیاز میکروارگانیسم‌ها و همچنین مقدار کافی پروتئین عبوری برای عملکرد مطلوب دام می‌باشد. تنظیم جیره‌ای که از نظر نسبت پروتئین قابل‌تجزیه به پروتئین غیرقابل-تجزیه در شکمبه در تعادل باشد، سبب افزایش بازده استفاده از نیتروژن می‌گردد؛ به‌طوری که آمونیاک در شکمبه، تجمع نمی‌یابد و لذا دفع اوره از طریق ادرار، کاهش پیدا می‌کند. به‌منظور کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه، روش‌های مختلف عمل‌آوری شیمیایی (استفاده از اسیدهای آلی، اتانول و فرمالدئید) و فیزیکی

1- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه علوم دامی دانشگاه بیرجند
2- استاد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
3- دانشیار مرکز آموزش عالی جهاد کشاورزی خراسان رضوی (شهید هاشمی نژاد)
4- استاد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
5- دانش آموخته دکتری تغذیه دام دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
(*- ایمیل نویسنده مسئول: (Email: mbashtani@birjand.ac.ir
DOI:10.22067/ijasr.v11i4.63238

(روش‌های مشتمل بر حرارت نظیر تف‌دادن، نواری‌کردن، جت اسپلادینگ و غیره) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (19). متداولترین روش عمل آوری فیزیکی استفاده از حرارت است (19). حرارت سبب واسرشتی پروتئین‌ها و بروز واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی (میلارد) بین گروه آلدئیدی قندها و گروه آمین اسید آمینه پروتئین شده و کمپلکس آمینو- قند را تشکیل می‌دهد که در مقابل تجزیه میکروبی در شکمبه مقاوم بوده ولی اسیدهای آمینه موجود در این کمپلکس در روده باریک قابل هضم و جذب می‌باشند (26). بخشی از احتیاجات پروتئینی گاوهای شیری توسط پروتئین میکروبی تولید شده در شکمبه تأمین می‌شود. از آنجائیکه پروتئین میکروبی تولید شده نمی‌تواند نیاز پروتئینی گاوهای شیری با تولید بالا را تأمین نماید، استفاده از منابع پروتئینی حاوی مقادیر بالای پروتئین غیر قابل تجزیه ضروری است که اغلب این منابع گرانقیمت هستند. با استفاده از فرآیندهای مختلف حرارتی روی منابع معمول و متعارف پروتئینی از جمله سویا می‌توان میزان پروتئین غیر قابل تجزیه آن‌ها را افزایش داد. دانه سویا با پروتئین خام تقریباً 42 درصد و مقادیر قابل ملاحظه‌ای اسیدهای آمینه محدودکننده لیزلین و متیونین به عنوان یک منبع با ارزش پروتئینی در تغذیه گاوهای شیری محسوب می‌گردد. اما تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای زیاد دانه سویا سبب کاهش دسترسی به مواد مغذی موجود در آن و عملکرد تولیدی دام شده است. تف دادن و اکسترود کردن راهبرد مناسبی در کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دانه سویا و تأمین پروتئین عبوری مورد نیاز گاوهای شیری می‌باشد (12 و 20). در مطالعه فتحی نسری (12) تف دادن و تف دادن به همراه ذخیره‌سازی حرارتی سبب کاهش معنی‌دار میزان نیتروژن غیر پروتئینی و نیتروژن محلول در بافر دانه سویا شد. میزان نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی و نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر عمل‌آوری حرارتی کاهش یافت که یکی از دلایل آن کاهش مقدار پوسته سویا گزارش شد. فرآیند حرارتی تف دادن در دمای 145 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش میزان نیتروژن محلول در بافر فسفات – بورات دانه سویا شد و میزان نیتروژن غیر پروتئینی نیز در دانه سویا تف داده کمتر از دانه سویا خام بود. در آزمایش اکبریان و همکاران (4) میزان نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی دانه سویای خام تحت تأثیر فرآیند حرارتی تف دادن افزایش یافت. برنارد (7) گزارش کرد تف دادن کنجاله سویا سبب افزایش نیتروژن غیرمحلول در شوینده اسیدی (ADIN) شده و افزایش درجه حرارت از 102 به 185 درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ADIN از 5/6 به 59/5 درصد شده است. در مطالعه این محققین افزایش ADIN در درجه حرارت 115 و 130 درجه سانتی‌گراد غیرمعنی‌دار ولی در 145 درجه سانتی‌گراد تا سه برابر افزایش پیدا کرده است. در بسیاری از آزمایشات افزایش ADIN را نتیجه شکل‌گیری محصولات میلارد می‌دانند. هدف از مطالعه‌ی حاضر تعیین و مقایسه اثرات تف دادن و اکسترود کردن بر ترکیب شیمیایی، بخش‌های نیتروژن‌دار، فعالیت اوره‌آز، پروتئین قابل متابولیسم، خصوصیات تجزیه پذیری و قابلیت هضم شکمبه‌ای ـ روده‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل‌آوری شده به روش کیسه‌های نایلونی بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش دانه سویای خام واریته ویلیامز مورد عمل آوری قرار گرفت. دانه سویا تف داده توسط کارخانه تهران دانه و دانه سویا اکسترود شده توسط کارخانه صالح کاشمر آماده شد. جهت تف دادن ابتدا دانه سویا در کارخانه بوجاری شد. سپس وارد دستگاه روستر[1] شده و دمای دانه به 145 درجه سانتی‌گراد رسید. این فرآیند به مدت 15 دقیقه بطول انجامید. این دستگاه دارای نوار نقاله‌ای به طول 12 متر بود که در طی آن جریان هوای خشک به دانه سویا دمیده شد. بعد از این مرحله دانه جهت حفظ حرارت[2] به مدت 45 دقیقه داخل مخزن نگهدارنده باقی ماند. سپس دانه‌ها در طی عبور از نوار نقاله توسط دستگاه سردکن با جریان هوا، خشک و سرد شدند. جهت تهیه دانه اکسترود شده دانه سویا با استفاده از یک آسیاب چکشی دارای الک با قطر 2 میلی‌متر آسیاب شد. به وسیله سیستم تغذیه مارپیچی (فیدر) دانه‌ها به صورت یکنواخت وارد کاندیشنر شدند و دما و رطوبت دانه سویا به ترتیب به70 درجه سانتی‌گراد و 15-20 درصد رسید. سپس دانه‌ها به دستگاه اکسترودر وارد شدند و با حرکت چرخشی مارپیچ درون سیلندر به سمت جلو حرکت کردند. در این دستگاه دانه سویا تحت تأثیر حرارت و فشار در دمای 160-150 درجه سانتی‌گراد به مدت 30-20 ثانیه قرار گرفت و در نهایت از این دستگاه خارج شده و توسط دستگاه سرد کن با جریان هوا، خشک و سرد گردید.

تجزیه تقریبی دانه‌های خام، تف داده و اکسترود شده سویا از جمله ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام و خاکستر به روش AOAC (5) و در محل آزمایشگاه تغذیه دام دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند تعیین شد. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (AOAC,2012) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی به روش ون سوست (28) و با کمک دستگاه آنکوم اندازه‌گیری شد. بخش‌های نیتروژن‌دار با توجه به مطالعه دانش مسگران و حیدریان (9) و بر اساس روش لیسترا و همکاران (16) اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت اوره‌آز دانه سویا خام و عمل‌آوری شده بر اساس روش ISO-3896 (15) تعیین شد. فعالیت اوره‌آز نیز عبارتست از مقدار نیتروژن آمونیاکی که در هر دقیقه تحت شرایط مشخص شده آزاد می‌گردد و بر حسب

1- Roaster
2- Steeping

میلی‌گرم نیتروژن در هر گرم فرآورده بیان شد. اندازه‌گیری اوره‌آز یک روش استاندارد کنترل کیفی در دانه سویا است و مقدار اوره‌آز باتوجه به تغییرات pH در خلال آزمایش برآورده گردید. دامنه قابل قبول برای آزمون اوره‌آز 0/2– 0/5 میلی‌گرم بر گرم است. بدین منظور نمونه آسیاب شده (0/2 گرم) با محلول بافر اوره (10 میلی‌لیتر) مخلوط گردید (میزان نمونه‌هایی با فعالیت اوره‌آز خیلی بالا را به 0/05 گرم کاهش داده شد) و سپس مخلوط به مدت 30 دقیقه در دمای 30 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس 10 میلی‌لیتر از محلول اسید کلریدریک به آن اضافه شد و فوراً تا دمای 20 درجه سانتی‌گراد سرد شد و تمام محتویات لوله آزمایش به طور کامل به بالن سنجش منتقل گردید. لوله آزمایش را دوبار و هر بار با 5 میلی‌لیتر آب شسته شده و به محتویات بالن سنجش اضافه گردید. سرانجام با محلول هیدروکسید سدیم حجم سنجی استاندارد تا pH 4/7 سنجش شد. این عمل با دستگاه پتانسیومتر صورت گرفت. حجم سود مصرفی به عنوان (V_1) یادداشت شد. همچنین جهت آزمون تهی (بدون نمونه) 10 میلی‌لیتر محلول بافر اوره و 10 میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک در لوله آزمایش ریخته شد و به سرعت مقدار 0/2 گرم نمونه به آن اضافه گردید. سایر مراحل مشابه آزمون نمونه بوده و نهایتاً حجم سود مصرفی در این آزمایش به عنوان (V_o) یادداشت شد. فعالیت اوره‌آز (U) بر حسب میلی‌گرم نیتروژن آزاد شده در هر دقیقه از هر گرم نمونه از فرمول زیر محاسبه شد.

$$U=14 \times C\,(V_o-V_1)/30 \times m$$

اجزای این معادله عبارتند از:

V_o= حجم محلول هیدروکسید سدیم 0/1 مول در لیتر بکار رفته در آزمون تهی بر حسب میلی‌لیتر

V_1= حجم محلول هیدروکسید سدیم 0/1 مول در لیتر بکار رفته در نمونه بر حسب میلی‌لیتر

C= غلظت دقیق محلول هیدروکسید سدیم بکار رفته بر حسب مول در لیتر

m= وزن نمونه به گرم

عدد 30= مدت زمان تاثیر اوره‌آز نمونه روی اوره برای آزاد کردن آمونیاک بر حسب دقیقه

به منظور تعیین خصوصیات تجزیه پذیری نمونه‌ها از دو رأس گاو براون سوئیس دارای فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. گاوها با جیره حاوی 70 درصد علوفه و 30 درصد کنسانتره (شامل 35 درصد دانه جو، 18 درصد دانه ذرت، 10 درصد کنجاله سویا، 15 درصد کنجاله کلزا، 11/5 درصد سبوس گندم، 7 درصد ملاس، 1 درصد مکمل معدنی- ویتامینی، 2 درصد پودر صدف و 0/5 درصد نمک (برحسب ماده خشک) بود.) در سطح نگهداری و بصورت جیره کاملاً مخلوط تغذیه شدند. خوراک روزانه در دو نوبت صبح و عصر در اختیار حیوانات قرار گرفت. به منظور تعیین روند تجزیه پذیری، مواد خوراکی مورد مطالعه ابتدا با آسیاب دارای الک با قطر منافذ 2 میلی‌متر خرد شدند. مقدار 5 گرم نمونه (دانه سویا خام، تف داده و اکسترووده شده) داخل کیسه‌های پلی استری با ابعاد 10 × 15 سانتی‌متر و با قطر منافذ 45 میکرون ریخته شد (4 کیسه به ازای هر نمونه؛ (2 گاو × 2 کیسه در هر گاو)) و کیسه‌ها به مدت 2، 4، 8، 16، 24 و 48 ساعت در شکمبه انکوباسیون شدند. برای زمان صفر، کیسه‌ها تنها با آب سرد شسته شدند، به طوری که آب زلال از آن‌ها خارج گردید. کیسه‌های حاوی نمونه پس از خروج از شکمبه با آب شستشو داده شدند، سپس کیسه‌ها با استفاده از آون تحت خلا در دمای 60 درجه سانتی‌گراد و به مدت 48 ساعت خشک گردید. میزان ناپدیدشدن ماده خشک با توجه به اختلاف مقدار ماده خشک نمونه‌ها قبل و بعد از انکوباسیون محاسبه شد. همچنین میزان تجزیه پذیری پروتئین خام نمونه‌ها با توجه به میزان ماده خشک باقیمانده و تعیین میزان پروتئین خام قبل و بعد از انکوباسیون نمونه‌ها توسط دستگاه کجلدال، محاسبه گردید.

جهت تعیین قابلیت هضم شکمبه‌ای و پس از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام با استفاده از روش in situ و دستگاه شبیه ساز هضم (in vitro)، مقدار 5 گرم نمونه (دانه سویا خام، تف داده و اکسترووده شده) داخل کیسه‌های پلی استری با ابعاد 10 × 15 سانتی‌متر و با قطر منافذ 45 میکرون ریخته شد (4 کیسه به ازای هر نمونه) و کیسه‌ها به مدت 12 ساعت در شکمبه انکوباسیون شدند. پس از خروج کیسه‌ها از شکمبه با آب سرد شسته شدند تا آب زلال از آن‌ها خارج شد. سپس کیسه‌ها به مدت 48 ساعت در آون تحت خلا در دمای 60 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک برای هر نمونه از اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از انکوباسیون محاسبه شد. قابلیت هضم شکمبه‌ای پروتئین خام نمونه‌ها نیز با توجه به میزان ماده خشک باقیمانده و تعیین میزان پروتئین خام قبل و بعد از انکوباسیون نمونه‌ها توسط دستگاه کجلدال، محاسبه گردید. از باقیمانده نمونه‌ها جهت تعیین قابلیت هضم پس از شکمبه-ای ماده خشک و پروتئین خام استفاده شد. قابلیت هضم روده‌ای با کمک دستگاه شبیه ساز هضم[1]، تعیین شد (14).

پروتئین قابل متابولیسم (MP) نمونه‌ها با استفاده از ضرایب تجزیه پذیری پروتئین خام (a، b و c) بدست آمده از روش *in situ* و میزان ADIN، بر اساس معادلات AFRC (1) محاسبه شد.

جهت تعیین فراسنجه‌های مختلف تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌ها، از معادله پیشنهادی ارسکوف و مکدونالد (21) استفاده شد و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS (24) و از طریق Proc NLIN انجام شد.

$$P= a + b\,(1 - e^{-ct}) \qquad \text{رابطه 1}$$

در این رابطه P پتانسیل تجزیه پذیری، a بخش سریع تجزیه، b

1- Daisy

بخش کند تجزیه، c ثابت نرخ تجزیه پذیری، t زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت) می‌باشد. تجزیه‌پذیری مؤثر (ED) ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌ها با استفاده از رابطه 2 و با در نظر گرفتن نرخ عبور (k) 0/04، 0/06 و 0/08 در ساعت محاسبه شد.

$$ED = a + \{(cb) / (c + k)\}$$ رابطه2

تجزیه آماری داده‌های مربوط به ترکیبات شیمیایی، بخش‌های نیتروژن‌دار، میزان فعالیت اوره‌آز، پروتئین متابولیسمی، فراسنجه‌های مختلف تجزیه پذیری و قابلیت هضم شکمبه‌ای و پس از شکمبه‌ای دانه سویا خام، تف داده و اکسترود شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از بسته نرم افزاری SAS (24) و از طریق Proc GLM انجام شد. همچنین میانگین‌ها با آزمون توکی مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

پارامترهای کنترل کیفیت دانه سویا

الف) ترکیب شیمیایی دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

ترکیب شیمیایی دانه سویا خام، تف داده و اکسترود شده در جدول 1 نشان داده شده است. میزان رطوبت در دانه‌های فرآوری شده کاهش یافت، که از لحاظ ذخیره‌سازی دانه سویا حائز اهمیت است. پروتئین و چربی خام دانه سویا تف داده و اکسترود شده اندکی بیشتر از دانه سویا خام بود. اما به نظر می‌رسد فرآیندهای حرارتی اثری بر مقدار چربی و پروتئین خام دانه سویا نداشته است. در دانه‌های فرآوری شده میزان فیبر نامحلول در شوینده خنثی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی کاهش یافت، که ممکن است به دلیل جدا شدن مقداری از پوسته در هنگام عمل آوری دانه سویا صورت گرفته باشد (12). ترکیب شیمیایی دانه سویای خام و تف داده نیز توسط انجمن ملی تحقیقات NRC (19)، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج NRC (19) نشان داد میزان پروتئین خام دانه سویای حرارت داده بیشتر از دانه سویای خام بود (به ترتیب 43 و 39/19 درصد). میزان فیبر نامحلول در شوینده خنثی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی بر خلاف این مطالعه در NRC (19) توسط حرارت افزایش داشت (به ترتیب از 19/5 به 22/1 و از 13/1 به 14/7). میزان چربی دانه سویا نیز در مقایسه با دانه سویا تف داده یکسان بود. کربوهیدرات غیر الیافی در دانه عمل آوری شده مطابق با نتایج این مطالعه کمتر از دانه سویا خام بود. در مطالعه نواک و همکاران (20) میزان پروتئین و چربی خام دانه سویا بر خلاف نتایج حاصله از این آزمایش توسط فرآیند اکسترود کردن کاهش یافت. اما میزان فیبر نامحلول در شوینده خنثی و فیبر نامحلول در شوینده اسیدی دانه سویا اکسترود شده نسبت به دانه سویا خام کمتر بود.

جدول 1- ترکیبات شیمیایی دانه سویای خام و عمل آوری شده با حرارت (بر حسب درصد ماده خشک)[1]

Table 1- Chemical composition of raw and heat-treated soybean seed (% DM)[1]

اجزاء جیره Components of diet	دانه سویا Soybean grain خام Raw	 تف داده Roasted	 اکسترود شده Extruded	سطح معنی داری P-value	اشتباه معیار میانگین SEM
ماده خشک DM	92.89 [a]	97 [b]	94.3 [ab]	P<0.05	0.68
پروتئین خام CP	39.5	41.67	41.69	P≥0.05	0.93
چربی خام CF	21.6	23.5	21.65	P≥0.05	0.76
خاکستر Ash	5.42	5.21	5.37	P≥0.05	0.35
فیبر نامحلول در شوینده خنثی NDF	21.5	19.3	20.6	P≥0.05	0.76
فیبر نامحلول در شوینده اسیدی ADF	9.4	7.8	8.2	P≥0.05	0.58
کربوهیدرات غیر الیافی[2] NFC[2]	11.98	10.32	10.69	P≥0.05	0.62

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.

[2]کربوهیدرات غیر الیافی از طریق تفاضل درصد پروتئین خام، چربی خام، خاکستر و فیبر نامحلول در شوینده خنثی از 100 محاسبه شد.

[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

[2]Non-fibrous carbohydrates was calculated by subtracting the percentage of crude protein, crude fat, ash and neutral detergent fiber of 100.

ب) بخش‌های نیتروژن‌دار دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

میزان بخش‌های نیتروژن‌دار دانه سویا خام، تف داده و اکسترووده شده در جدول 2 نشان داده شده است. میزان نیتروژن غیر پروتئینی و نیتروژن محلول در بافر دانه سویا تحت تأثیر عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن کاهش یافت. همچنین میزان نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی دانه سویا کاهش یافت که ممکن است به دلیل جدا شدن مقداری از پوسته در هنگام عمل‌آوری دانه سویا صورت گرفته باشد یا تحت تأثیر عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن کاهش یافته است (12). تف دادن و اکسترود کردن نیز میزان نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی دانه سویا را تحت تأثیر قرار نداد. در بسیاری از آزمایشات حرارت باعث افزایش میزان پروتئین نامحلول در شوینده خنثی شد (8 و 25)، اما تأثیر فراوری بر میزان پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی بسیار متفاوت است. در بعضی از مقالات افزایش میزان پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی با حرارت (8)، عدم تغییر (25) یا حتی کاهش (11 و 18) نسبت به دانه خام و کنجاله سویا بیان شده است. میزان پروتئین حقیقی دانه سویا با توجه به کاهش نیتروژن غیر پروتئینی، توسط فرآیند تف دادن و اکسترود کردن افزایش یافت. میزان نیتروژن غیر پروتئینی دانه سویا توسط فرآیند اکسترود کردن اندکی بیشتر نسبت به فرآیند تف دادن کاهش یافت، اما تفاوت معنی داری وجود نداشت. فرآیند اکسترود کردن سبب کاهش معنی‌داری در نیتروژن محلول در بافر دانه سویا در مقایسه با فرآیند تف دادن شد. در مطالعه گانش و گریو (13) مطابق نتایج آزمایش حاضر میزان نیتروژن غیر پروتئینی و نیتروژن محلول در بافر دانه سویا تحت تأثیر عمل آوری حرارتی کاهش یافت. بیشترین تأثیر فرآیند تف دادن بر پروتئین حقیقی محلول بود که میزان آن با افزایش درجه حرارت، کاهش یافت. میزان نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی در دمای 125 و 150 درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، اما در دمای 165 درجه سانتی‌گراد به دلیل ایجاد فرآیند میلارد افزایش یافت. میزان نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی بر خلاف نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی در تمام دماهای اعمال شده کاهش یافت. در مطالعه فتحی (12) نیز تف دادن و تف دادن به همراه ذخیره سازی حرارتی سبب کاهش معنی‌دار میزان نیتروژن غیر پروتئینی و نیتروژن محلول در بافر دانه سویا شد. همچنین مطابق نتایج این آزمایش میزان نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی و نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر عمل‌آوری حرارتی کاهش یافت، که یکی از دلایل آن کاهش مقدار پوسته دانه سویا گزارش شد (12). از آنجاکه هدف اصلی از تغذیه پروتئین در گاوهای شیری تأمین مقدار کافی پروتئین قابل تجزیه در شکمبه جهت نیاز میکروارگانیسم‌ها و همچنین تأمین مقدار کافی پروتئین عبوری در جهت عملکرد مطلوب دام می‌باشد لذا با در نظر گرفتن بخش‌های نیتروژن‌دار می‌توان از دانه سویا در تأمین مناسب و دقیق‌تر پروتئین مورد نیاز گاوهای شیری استفاده نمود. همچنین عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن می‌تواند سبب افزایش بازدهی منابع پروتئینی نظیر دانه سویا گردد.

جدول 2- بخش‌های نیتروژن‌دار دانه سویای خام و عمل آوری شده با حرارت (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)

Table 2- Nitrogen fractions of raw and heat-treated soybean seed (g/kg DM)

بخش‌های نیتروژن‌دار Nitrogen fractions	دانه سویا Soy bean			سطح معنی داری P-value	اشتباه معیار میانگین SEM
	خام Raw	تف داده Roasted	اکسترود شده Extruded		
CP	395	416.7	416.9	P≥0.05	۰,۹۳
NPN	164 [a]	120 [b]	117 [b]	P<0.05	5.28
TP	231 [b]	296.7 [a]	299.9 [a]	P<0.05	2.04
BSP	340 [a]	218 [b]	201 [c]	P<0.05	3.05
NDIN	166	162	165	P<0.05	2.18
ADIN	139.5 [a]	109 [b]	113 [b]	P<0.05	5.23

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.

CP= پروتئین خام، NPN= نیتروژن غیر پروتئینی، TP= پروتئین حقیقی، BSP= نیتروژن محلول در بافر، NDIN= نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی

ADIN= نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی

[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

ج) میزان فعالیت اوره‌آز دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

میزان فعالیت اوره‌آز دانه سویا خام، تف داده و اکسترووده شده در جدول 3 نشان داده شده است. با تعیین میزان فعالیت اوره‌آز می‌توان به تأثیر فرآیندهای حرارتی بر بازدارنده تریپسین موجود در دانه سویا پی برد. دامنه قابل قبول برای آزمون اوره از 0/5– 0/2 میلی‌گرم برگرم است و مقادیر بالاتر از 0/5 به معنای وجود مقدار بیشتر اوره و در نتیجه بازدارنده تریپسین است.

جدول 3- میزان فعالیت اوره‌آز دانه سویای خام و عمل آوری شده با حرارت (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)
Table 3- Amount of urease activity raw and heat-treated soybean seed (mg /g DM)

ماده ضد مغذی Anti-nutrient	دانه سویا Soy bean			سطح معنی داری P-value	اشتباه معیار میانگین SEM
	خام Raw	تف داده Roasted	اکسترود شده Extruded		
فعالیت اوره‌آز Urease activity	6.76 [a]	0.19 [b]	0.14 [b]	P<0.05	0.33

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.
[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

میزان فعالیت اوره‌آز دانه سویا تحت تأثیر عمل آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن به طور چشمگیری کاهش یافت. ولی تفاوت معنی‌داری بین فعالیت اوره‌آز دانه سویا تف داده و اکسترود شده مشاهده نشد. نتایج حاضر نشان می‌دهد مواد ضد مغذی اوره‌آز و بازدارنده تریپسین دانه سویا توسط فرآیند تف دادن و اکسترود کردن غیر فعال شدند که می‌تواند سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین روده‌ای و دسترسی اسیدهای آمینه در روده گردد (2). آلدریچ و همکاران (2) گزارش کردند که تخمیر شکمبه‌ای نمی‌تواند سبب حذف اثرات منفی فعالیت بازدارنده تریپسین بر قابلیت هضم اسیدهای آمینه دانه کامل سویا در روده باریک شود بلکه فرآیندهای حرارتی در این زمینه مؤثرند. در مطالعه رویز و همکاران (23) اکسترود کردن دانه سویا در دمای140 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش میزان بازدارنده تریپسین از 50/80 به 4/70 و فعالیت اوره‌آز نیز از 1/99 به 0/03 شد. همچنین تف دادن دانه سویا در دمای 120 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش میزان بازدارنده تریپسین از 56/30 به 6/30 و فعالیت اوره‌آز نیز از 2/01 به 0/03 شد. اکسترود کردن دانه سویا در دمای 145 - 135 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش فعالیت اوره‌آز دانه سویا و بهترین عملکرد حیوانات مورد آزمایش شد (10). در آزمایش صورت گرفته توسط پوروشوتهام و همکاران (22) نشان دادند، بازدارنده‌های تریپسین و اوره‌آز در سویای اکسترود شده در دمای 140 درجه سانتی‌گراد به ترتیب از 50 و 2، به کمتر از 2 و 0/046 کاهش یافت. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که اکسترود کردن دانه سویا در بین دمای 140- 120 درجه سانتی‌گراد سبب غیر فعال شدن بازدارنده تریپسین و فعالیت اوره‌آز می‌شود.

جدول 4- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه سویا خام و عمل‌آوری شده با حرارت (درصد)
Table 4- Degradability parameters of dry matter raw and heat-treated soybean seed (%)

ماده خوراکی Nutrient	فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری Degradability parameters			تجزیه‌پذیری موثر (درصد) در سرعت عبور Effective degradability (%/KP)		
	a	b	c	0.04	0.06	0.08
دانه سویا خام Raw soybean seed	35.05[a]	63.25[c]	6.09 [a]	73.03[a]	66.73[a]	62.23[a]
تف داده Roasted	26.01[b]	74.73[b]	4.21[b]	64.33[b]	56.83[b]	51.79[b]
اکسترود شده Extruded	14.93[c]	85.82[a]	4.74[b]	61.48[c]	52.81[c]	46.87[c]
سطح معنی‌داری P-value	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05
اشتباه معیار SEM	0.63	1.12	0.28	0.62	0.68	0.71

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ردیف برای هر فراسنجه اندازه‌گیری شده بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.
[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

بخش‌های مختلف تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه‌های سویای خام، تف داده و اکسترود شده در جدول 4 نشان داده شده است. تفاوت معنی‌دار (P <0/05) بین میانگین فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک دانه سویا تحت تأثیر فرآیند تف دادن و اکسترود کردن مشاهده شد. بخش سریع تجزیه

ماده خشک دانه سویای خام توسط فرآیند تف دادن و اکسترود کردن کاهش یافت (به ترتیب 27/6 و 57/4 درصد). تف دادن و اکسترود کردن نیز سبب افزایش بخش کند تجزیه دانه‌های سویا خام از 63/25 به 74/73 و از 63/25 به 85/82 درصد شد. همچنین ثابت نرخ تجزیه ماده خشک دانه‌های سویا در شکمبه نیز از 6/09 به 4/21 و از 6/09 به 4/74 درصد تحت تأثیر فرآیند تف دادن و اکسترود کردن کاهش یافت. فرآیند تف دادن و اکسترود کردن به ترتیب سبب 19/9 و 24/6 درصد کاهش در تجزیه پذیری مؤثر ماده خشک دانه سویا در سرعت عبور 8 درصد در ساعت شدند.

نتایج حاضر در این آزمایش مطابق با مطالعه اکبریان و همکاران (4) بود. به طوری که تف دادن در دمای 145 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش تجزیه پذیری مؤثر ماده خشک و بخش سریع تجزیه دانه سویا شد. ثابت نرخ تجزیه ماده خشک دانه سویا در شکمبه نیز از 8/15 به 4/96 درصد کاهش پیدا کرد. همچنین بخش کند تجزیه دانه عمل آوری شده در مقایسه با دانه سویای خام افزایش داشت. بر خلاف این آزمایش در مطالعه فتحی (12) تف دادن در دمای 130 درجه سانتی‌گراد به صورت ذخیره‌سازی و بدون ذخیره‌سازی حرارتی بخش سریع تجزیه ماده خشک دانه سویای خام را تحت تأثیر قرار نداد. همچنین بخش کند تجزیه‌ی ماده خشک سویای خام و تف داده نیز تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند. اما فرآیند تف دادن سبب کاهش معنی‌دار تجزیه پذیری مؤثر و ثابت نرخ تجزیه ماده خشک دانه سویای خام شد. روند تجزیه پذیری دانه سویا در مطالعه نواک و همکاران (20) نیز مشابه نتایج حاضر در این آزمایش بود. اکسترود کردن در دمای 145، 155 و 165 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش بخش سریع تجزیه ماده خشک شد. همچنین تجزیه پذیری مؤثر و ثابت نرخ تجزیه ماده خشک دانه سویا توسط فرآیند اکسترود کردن کاهش یافت.

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

بخش‌های مختلف تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه سویای خام، تف داده و اکسترود شده در جدول 5 نشان داده شده است. در مورد بخش‌های مختلف تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه‌های سویای خام، تف داده و اکسترود شده نیز یک روند مشابه با تجزیه‌پذیری ماده خشک این دانه‌ها مشاهده شد. تف دادن و اکسترود کردن سبب کاهش 38/4 و 68/4 درصدی بخش سریع تجزیه و افزایش 17/3 و 26/1 درصدی در بخش کند تجزیه و ثابت نرخ تجزیه پروتئین خام دانه سویا از 7/61 به 3/79 و 4/01 کاهش یافت. فرآیند تف دادن و اکسترود به ترتیب سبب 29/4 و 36/4 درصد کاهش در تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام دانه سویا در سرعت عبور 8 درصد در ساعت شدند. اکبریان و همکاران (4) مشاهده کردند عمل‌آوری حرارتی تف دادن در دمای 145 درجه سانتی‌گراد بخش سریع تجزیه پروتئین خام دانه سویا را کاهش می‌دهد. تف دادن نیز سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام دانه سویا شد. ثابت نرخ تجزیه ماده پروتئین خام دانه سویا در شکمبه نیز 27/3 درصد کاهش پیدا کرد. بخش کند تجزیه دانه عمل‌آوری شده در مقایسه با دانه سویای خام افزایش یافت.

جدول 5- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه سویا خام و عمل‌آوری شده با حرارت (درصد)

Table 5- Crude protein degradability parameters of raw and heat-treated soybean seed (%)

ماده خوراکی Nutrient	فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری Degradability parameters			تجزیه‌پذیری موثر (درصد) در سرعت عبور Effective degradability (%/KP)		
	a	b	c	0.04	0.06	0.08
دانه سویا خام Raw soybean seed	29.6^{a}	66.85^{c}	7.61^{a}	73.39^{a}	66.95^{a}	62.17^{a}
تف داده Roasted	18.21^{b}	80.89^{b}	3.79^{b}	57.08^{b}	49.12^{b}	43.87^{b}
اکسترود شده Extruded	9.34^{c}	90.49^{a}	4.01^{b}	54.58^{c}	45.54^{c}	39.51^{c}
سطح معنی‌داری P-value	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05	P<0.05
اشتباه معیار SEM	0.52	2.31	0.26	0.57	0.59	0.6

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ستون برای هر فراسنجه اندازه‌گیری شده بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.

[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

بر خلاف این آزمایش در مطالعه فتحی (12) مشابه روند تجزیه‌پذیری ماده خشک، تف دادن به صورت ذخیره‌سازی و بدون

ذخیره‌سازی حرارتی بخش سریع تجزیه و بخش کند تجزیه پروتئین خام دانه سویا را تحت تأثیر قرار نداد. اما فرآیند تف دادن سبب کاهش معنی‌دار تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام و ثابت نرخ تجزیه دانه سویای خام شد. در مطالعه نواک و همکاران (20) روند تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه سویا نیز مشابه نتایج حاضر در این آزمایش بود. اکسترود کردن در تمام دماهای اعمال شده سبب کاهش بخش سریع تجزیه و ثابت نرخ تجزیه پروتئین خام شد. همچنین تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام دانه سویا توسط فرآیند اکسترود کردن کاهش یافت.

فرآیند اکسترود کردن سبب کاهش بیشتری در بخش سریع تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا نسبت به تف دادن شد ($P<0/05$). همچنین بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا توسط فرآیند اکسترود کردن در مقایسه با فرآیند تف دادن، بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت ($P<0/05$). تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا نیز تحت تأثیر فرآیند اکسترود کردن نسبت به تف دادن کاهش بیشتری نشان داد ($P<0/05$). اما فرآیند تف دادن سبب کاهش بیشتری نسبت به اکسترود کردن در مورد ثابت نرخ تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد، اما تفاوت معنی‌داری بین دو فرآیند در این مورد وجود نداشت. با توجه به نتایج بدست آمده از این آزمایش، فرآیند اکسترود کردن تأثیر مؤثرتری بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری دانه سویای خام نسبت به فرآیند تف دادن داشته است. نتایج نشان داد تف دادن و اکسترود کردن سبب کاهش معنی‌دار بخش سریع تجزیه (که عمدتاً از نیتروژن غیر پروتئینی تشکیل شده است) و افزایش بخش کند تجزیه دانه سویا شده است. حرارت دادن سبب ایجاد پل‌های عرضی در داخل زنجیره‌های پلی پپتیدی و بین زنجیره‌ها با کربوهیدرات‌ها شده و به این ترتیب تجزیه پذیری پروتئین را کاهش می‌دهد (17). که می‌تواند بیانگر کاهش در بخش سریع تجزیه و افزایش در بخش کند تجزیه دانه سویا عمل‌آوری شده باشد. بعلاوه با توجه به کاهش ثابت نرخ تجزیه می‌توان نتیجه گرفت عمل‌آوری حرارتی سبب افزایش نسبت اجزاء با ثابت نرخ تجزیه پذیری کندتر شده است. همچنین در دانه‌های عمل‌آوری شده تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام با توجه به کاهش ثابت نرخ تجزیه و رابطه مستقیم با ثابت نرخ تجزیه‌پذیری، کاهش یافت. نتایج نشان داد فرآیندهای حرارتی تف دادن و اکسترود کردن راهبرد مناسبی در کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای دانه سویا وتأمین پروتئین عبوری مورد نیاز گاوهای شیری می‌باشد. تف دادن و اکسترود کردن نیز می‌تواند با حفاظت پروتئین دانه سویا از دسترسی میکروب‌ها در شکمبه، روش مؤثری در افزایش بازده استفاده از پروتئین با ارزش دانه سویا باشد.

قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

میزان قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل آوری شده در جدول 6 نشان داده شده است. فرآیند تف دادن سبب کاهش 21/9 و 29/8 درصد در میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد. همچنین میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا تحت تأثیر فرآیند اکسترود کردن 24/9 و 35/9 درصد کاهش یافت. میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه اکسترود شده نسبت به دانه تف داده کاهش اندکی را نشان داد. نواک و همکاران (20) مشاهده کردند فرآیند حرارتی اکسترود کردن در دمای 145، 155 و 165 درجه سانتی‌گراد باعث کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای می‌گردد. بالاترین دما (165 درجه) ممکن است سبب دناتوره شدن پروتئین یا تشکیل کمپلکس پروتئین- کربوهیدرات گردد و بطور مؤثری تجزیه مواد را در شکمبه کاهش دهد. استرن (27) نشان داد که فرآوری حرارتی سویا به روش اکسترود کردن در دمای 149 درجه سانتی‌گراد تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه را در مقایسه با سویای خام، کاهش می‌دهد. در حالی که اکسترود کردن در دمای پایین‌تر (132 درجه) جهت کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین مفید نبود. در مطالعه فتحی (12) مطابق نتایج حاضر میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا تحت تأثیر عمل‌آوری تف دادن و تف دادن به همراه ذخیره‌سازی حرارتی کاهش یافت. همچنین کاهش ناپدید شدن شکمبه‌ای پروتئین خام روند مشابهی با کاهش ناپدید شدن شکمبه‌ای کل اسیدهای آمینه دانه سویا تحت تأثیر فرآیندهای حرارتی داشت.

قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل‌آوری شده

میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام، تف داده و اکسترود شده (بر حسب درصد ماده خشک) در جدول 6 نشان داده شده است. تحت تأثیر عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا افزایش یافت. میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا تحت تأثیر فرآیند تف دادن 56/6 و 57/5 درصد و تحت تأثیر فرآیند اکسترود کردن 71/5 و 73/1 درصد افزایش یافت. فرآیند اکسترود کردن در مقایسه با فرآیند تف دادن سبب افزایش بیشتری در میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد.

جدول 6- قابلیت هضم شکمبه‌ای، پس از شکمبه‌ای و کل دستگاه گوارشی ماده خشک و پروتئین خام دانه سویای خام و عمل‌آوری شده با حرارت (درصد ماده خشک)

Table 6- Ruminal Digestibility, Post-Ruminal digestibility and total tract dry matter and crude protein of raw and heat-treated soybean seed (% DM).

ماده مغذی Nutrient	دانه سویا Soybean seed خام Raw	تف داده Roasted	اکسترود شده Extruded	سطح معنی‌داری P-value	اشتباه معیار میانگین SEM
	قابلیت هضم شکمبه‌ای Ruminal digestibility				
ماده خشک DM	64.18[a]	50.11[b]	48.21[b]	P<0.05	1.07
پروتئین خام CP	66.12[a]	46.37[b]	42.35[b]	P<0.05	0.98
	قابلیت هضم پس از شکمبه‌ای Post-Ruminal digestibility				
ماده خشک DM	35.1[c]	54.97[b]	60.23[a]	P<0.05	0.97
پروتئین خام CP	42.06[c]	66.27[b]	72.83[a]	P<0.05	0.99
	قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش Total tract				
ماده خشک DM	76.85[b]	77.35[b]	79.4[a]	P<0.05	0.61
پروتئین خام CP	80.36[b]	81.91[b]	84.33[a]	P<0.05	0.82

[1]درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.

[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد افزایش در قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا ممکن است بدلیل کاهش در میزان فعالیت اوره‌آز و بازدارنده تریپسین دانه سویا توسط عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن باشد.

در مطالعه فتحی (12) نیز نتایج نشان داد فرآیندهای تف دادن و تف دادن به همراه ذخیره‌سازی حرارتی سبب افزایش در میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد. فرآیند اکسترود کردن دانه سویا در دمای 195 درجه سانتی‌گراد نیز سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه از 90 به 58 درصد و افزایش قابلیت دسترسی پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه از 78 به 91 درصد می‌گردد (6). آلدریچ و همکاران (2) گزارش کردند عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن سبب بهبود در میزان قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای پروتئین خام و اسیدهای آمینه دانه سویا شد. همچنین فعالیت بازدارنده تریپسین را قبل و بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد تخمیر شکمبه‌ای نمی‌تواند سبب حذف اثرات منفی فعالیت بازدارنده تریپسین بر قابلیت هضم اسیدهای آمینه دانه سویا در روده باریک شود. فرآیندهای تف دادن و اکسترود کردن سبب کاهش در میزان فعالیت بازدارنده تریپسین دانه سویا شد و یکی از دلایل افزایش قابلیت هضم روده‌ای اسیدهای آمینه بود. نتایج مطالعه اکبریان (3) نشان داد که بین ناپدید شدن بعد شکمبه‌ای ماده خشک دانه سویای عمل‌آوری نشده و تف داده شده تفاوت معنی‌داری (P <0/05) وجود دارد. ناپدید شدن بعد شکمبه‌ای ماده خشک دانه سویای عمل‌آوری نشده 73/07 درصد و برای تف داده شده 81/99 درصد بود. همچنین میزان ناپدید شدن بعد شکمبه‌ای پروتئین خام دانه سویای عمل‌آوری نشده 86/28 درصد و برای تف داده شده 88/49 درصد بود.

قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش

عمل‌آوری حرارتی تف دادن و اکسترود کردن سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا در کل دستگاه گوارش شد (جدول 6). میزان قابلیت هضم دانه سویا در کل دستگاه گوارش تحت تأثیر فرآیند تف دادن بطور اندکی افزایش یافت، اما اکسترود کردن بطور معنی‌داری سبب افزایش قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش شد. نتایج نشان می‌دهد تف دادن و اکسترود کردن با کاهش در میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای و افزایش قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای مواد مغذی دانه سویا سبب بهبود روند تجزیه‌پذیری دانه

سویا شد، به طوری که مکان هضم مواد مغذی را از شکمبه بـه روده باریک انتقال داده و سبب افزایش میزان مواد مغذی قابـل هضـم در روده شد. افزایش قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش نشان می‌دهـد کاهش هضم شکمبه‌ای دانه سویا تحت تأثیر فرآیندهای تـف دادن و اکسترود کردن توسط افزایش قابلیت هضم بعد از شـکمبه‌ای جبـران شده است.

در مطالعه فتحی (12) نتایج نشان داد قابلیت هضم دانه سویا در کل دستگاه گوارش تحت تأثیر فرآیند تف دادن قرار نگرفت و یکسان بود. اما فرآیند تف دادن به همراه ذخیره‌سازی حرارتی سـبب افـزایش معنی‌داری در میزان قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش شـد. آن‌هـا لزوم انجام این مرحله از فرآیند حرارتی پـس از تـف دادن را توصـیه کردند. در مطالعه اکبریان (3) مطابق نتایج حاضر بین ناپدیـد شـدن ماده خشک و پروتئین خام در کل دستگاه گوارش برای دانـه سـویای عمل‌آوری نشده و تف داده شده تفـاوت معنـی‌دار (P <0/05) وجـود نداشت. ناپدید شدن ماده خشک دانه سویای عمل‌آوری نشده در کل دستگاه گوارش 96/59 درصد و بـرای دانـه سـویای تـف داده شـده 95/76 درصد بود. همچنین ناپدید شدن پروتئین خـام دانـه سـویای عمل‌آوری نشده، تف داده شده در کـل دسـتگاه گـوارش بـه ترتیـب 99/17 و 99/29 درصد بدست آمد. در این مطالعه نیز نتایج نشان داد که عمل‌آوری دانه سویا مکان هضم ماده خشک را از شکمبه به روده منتقل کرده و کاهش ناپدید شدن در شکمبه با افزایش ناپدید شـدن پس شکمبه‌ای جبران شده است.

پروتئین قابل متابولیسم

پارامترهای پروتئین دانه سویا خام، تف داده و اکسترووده شـده در سیستم پروتئین متابولیسمی در جدول 7 نشان داده شده است. سیستم پروتئین قابل متابولیسم تغییرات کمی و کیفـی پـروتئین در دسـتگاه گوارش را مورد توجه قرار داده و نهایتاً مقدار اسـیدهای آمینـه قابـل جذب از روده باریک را تخمین زده (3) و با استفاده از داده‌های تجزیه پذیری به روش کیسه‌های نایلونی مقدار پروتئین جیره قابل تجزیه در شکمبه را تخمین و محاسبه می‌کند. نتایج نشـان داد پـروتئین قابـل تجزیه سریع دانه سویا تحت تأثیر فرآینـدهای حرارتـی تـف دادن و اکسترود کردن به ترتیب 35 و 66/7 درصد کاهش یافت و با توجه به کاهش در میزان بخش سریع تجزیه دانه سویا تحت تأثیر قرار گرفت. فرآیند تف دادن پروتئین قابل تجزیه آهسته دانه سویا را تحت تـأثیر قرار نداد، اما اکسترود کردن سبب افزایش معنی‌دار ایـن بخـش شـد. عمل‌آوری تف دادن و اکسترود کردن پروتئین قابل تجزیـه مـؤثر در شکمبه دانه سویا را کاهش داد، اما میزان این بخش در دانه سویا تف داده و اکسترود شده یکسان بود. میزان پروتئین غیر قابل تجزیـه در شکمبه و پروتئین غیر قابل تجزیه قابل هضم دانه سویا تحـت تـأثیر تف دادن و اکسترود کردن افزایش یافت، اما بین دانه سویا تف داده و اکسترود شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

جدول 7- پارامترهای پروتئین دانه سویای خام و عمل آوری شده با حرارت در سیستم پروتئین قابل متابولیسم (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)

Table 7- The protein parameters of raw and heat-treated soybean seed in metabolizable protein system (g/kgDM)

پارامترهای پروتئین Parameters of Protein	دانه سویا Soybean seed			سطح معنی‌داری P-value	اشتباه معیار میانگین SEM
	خام Raw	تف داده Roasted	اکسترود شده Extruded		
QDP	116.90[a]	75.9[b]	38.9[c]	P<0.05	2.15
SDP	209.1[b]	218.42[b]	251.7[a]	P<0.05	2.94
ERDP	302.6[a]	281.3[b]	282.8[b]	P<0.05	2.96
UDP	68.9 [b]	120.1[a]	126.2[a]	P<0.05	3.12
DUP	61.2[b]	107.4[a]	112.9[a]	P<0.05	2.8
MP	254.1[c]	286.8[b]	293.2[a]	P<0.05	0.96

1درج حروف غیر مشابه در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار (P <0/05) است.

QDP= پروتئین قابل تجزیه سریع، SDP= پروتئین قابل تجزیه آهسته، ERDP= پروتئین قابل تجزیه مؤثر در شکمبه، UDP= پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه

DUP= پروتئین غیر قابل تجزیه قابل هضم، MP= پروتئین قابل متابولیسم

[1]Different letters in each row indicates significant difference (P<0.05).

QDP: Quickly Degradable Protein, SDP: Slowly Degradable Protein, ERDP: Effective Rumen Degradable Protein, UDP: Undegradable Dietary Protein, DUP: Digestible Undegradable Protein, MP: Metabolize Protein.

نسبت DUP به UDP از صفر تا 0/9 با توجه به نوع خـوراک و پیش فرآوری آن متغیر است (1). نسبت DUP به UDP دانه سویای خام، تف داده و اکسترود شده به ترتیب 88/8، 89/42 و 89/45 بود. با توجه به معادلات بدست آمده میزان پروتئین قابل متابولیسم دانه سویا تف داده و اکسترود شده به ترتیب 12/8 و 13/3 درصد افزایش یافت. دانه سویا اکسترود شده، کمترین میزان پروتئین قابل تجزیه سـریع و بیشترین میزان پروتئین قابل تجزیه آهسته و پروتئین متابولیسمی را دارا بود. نتایج نشان می‌دهد میزان پروتئین قابل متابولیسم دانه سویا تحت تأثیر میزان تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه می‌باشـد، کـه بـا توجه به بهبود در روند تجزیه پذیری و افزایش در قابلیت هضم بعد از

شکمبه‌ای دانه سویا توسط فرآیندهای حرارتی تـف دادن و اکسـترود کردن، پروتئین متابولیسمی افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری کلی

فرآیند تف دادن و اکسترود کردن سبب بهبود روند تجزیه‌پذیری دانه سویا شد، به طوری که بخش سریع تجزیه و ثابت نـرخ تجزیـه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین فرآیندهای حرارتی سبب افزایش بخش کند تجزیه و کاهش در تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پـروتئین خـام دانـه سـویا شـد. کاهش میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای دانـه سـویا توسـط عمـل آوری حرارتی، با افزایش در قابلیت هضم بعد از شکمبه‌ای جبران گردید که نشان می‌دهد مکان هضم پروتئین از شکمبه به روده باریـک انتقـال یافته و سبب افزایش میزان ماده خشک و پروتئین خام قابل هضم در روده شده است. نتایج این آزمایش نشان داد فرآیندهای حرارتی تـف دادن و اکسترود کردن راهبـرد مناسـبی در کـاهش تجزیـه پـذیری شکمبه‌ای دانه سویا و تأمین پروتئین عبوری مورد نیاز گاوهای شیری می‌باشد. ضمن اینکه دمای مورد استفاده جهـت عمـل‌آوری حرارتـی مهم بوده و نتایج نشان داده است حرارت بیش از حد مطلوب (بالای 165 درجه طبق اکثر آزمایشات) ممکن است پروتئین سویا را در برابر فعالیت میکروبی در شکمبه محافظت کنـد، ولـی پـروتئین غیرقابـل هضم در روده ایجاد گردد (20). در این مطالعه دمای مـورد اسـتفاده جهت اکسترود کردن در محدوده 160-150 درجه سانتی‌گراد بـود و باعث عدم انحلال بیشتر در پروتئین دانه سویا نگردید.

منابع

1- Agricultural Food Research Council. 1993. Energy and Protein requirements of ruminants. CAB International, Walling Road, UK.

2- Aldrich, C. G., N. R. Merchen., C. M. Parsons., H. S. Hussein., S. Ingram, and J. R. Clodfelter. 1997. Assessment of postruminal amino acid digestibility of roasted and extruded whole soybeans with the precision-fed rooster assay. Journal of Animal Science, 75: 3046–3051.

3- Akbariyan, A. 2009. Functional and physiological responses of lactating Holstein cows to processed soybeans with Physical methods. Master Thesis. Isfahan University of Technology. (In Persian).

4- Akbariyan, A., M. Khorvash., G. h. Ghorbani., M. Dehghan., P. Shourang., A. Ghasemi, and M. Jafari. 2010. Degradability of soybean seeds processed with physical methods with nylon bag and polyacrylamide gel electrophoresis. 4th Animal Science Congress, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj. (In Persian).

5- AOAC International, 2012. Official Method of Analysis. 19th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.

6- Benchaar, C, and R. Moncoulon. 1993. Effetdel'extrusiona195°C sur la disparition des acides amines du lupin dans le rumen et l'intestin in situ chez lavache. Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences, 42:128–129.

7- Bernard J K, 1990. Effect of raw or roasted whole soybeans on digestibility of dietary nutrients and milk production of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 73:3231.

8- Borucki Castro, S. I., L. E. Phillip., H. Lapierre., P.W. Jardon, and R. Berthiaume. 2007. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in treated soybean meal products. Journal of Dairy Science, 90: 810–822.

9- Danesh Mesgaran, M, and N. Heydariyan. 2000. Determination Nitrogen fractions of Food ingredients used in ruminants in Khorasan province. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 79-89. (In Persian).

10- Dragan, V. P, and E. S. Coetzee. 2009. Protocol for using protein solubility as an indicator of full-fat soybean heat treatment. Biblid, 40: 71-77.

11- Faldet, M. A., V.L. Voss., G. A. Broderick, and L.D. Satter. 1991. Chemical, in vitro. and in situ evaluation of heat-treated soybean proteins. Journal of Dairy Science, 74:2548-2554.

12- Fathi Nasri, M. H. 2005. Impact of the use of raw and heated soybeans on digestive factors, milk production and composition Holstein cows. PhD thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

13- Ganesh, D, and D. G. Grieve. 1990. Effect of roasting raw soybeans at three temperatures on in situ dry matter and nitrogen disappearance in dairy cows. Journal of Dairy Science, 73: 3222-3230.

14- Gargallo, S., S. Calsamiglia, and A. Ferret. 2006. Technical note: A modified three-step *in vitro* procedure to determine intestinal digestion of proteins. Journal of Animal Science, 84:2163-2167.

15- International Standard-5506-1988. Soya bean products - determination of urease activity

16- Licitra, G., T. Hernandez, and P. J. Van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Journal of Animal Feed Science and Technology, 57:347-358.

17- Mielke, C. D, and D. J. Schingoethe. 1981. Heat-treated soybeans for lactating cows. Journal of Dairy Science, 64:1579-1585.

18- Moshtaghi Nia, S. A, and Ingalls, J. R. 1992. Effect of heating on canola meal protein degradation in the rumen and digestion in the lower gastrointestinal tract of steers. Can. Journal of Animal Science, 72:83-88.

19- National Research Council, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7th ed. National Academy of Sciences, Washington, DC. USA.
20- Nowak, W., S. Michalak, and S. Wylegala. 2005. In situ evaluation of ruminal degradability and intestinal digestibility of extruded soybeans. Czech. Journal of Animal Science, 50: 281–287.
21- Orskov, E. R, and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science, 92:499-503.
22- Purushotham, B., P. M. Radhakrishna, and B.S. Sherigara. 2007. Effects of steam conditioning and extrusion temperature on some anti-nutritional factors of soybean for pet food (glycine max) applications. American Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2 (1): 1-5.
23- Ruiz, N., F. Belalcazar, and G.J. Diaz. 2004. Quality control parameters for commercial full-fat soybeans processed by two different methods and fed to broilers. Journal of Applied Poultry Research, 13: 443-450.
24- SAS Institute Inc. 1996. Statistical Analysis System (SAS) User's Guide, SAS Institute, Cary, NC, USA.
25- Samadi, and P. Yu. 2011. Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. Journal of Dairy Science, 94:6092-6102.
26- Satter, L. D., T. R. Dihiman, and J. T. Hsu. 1994. Use of heat processed soybeans in dairy cattle. In Proc. 1994 Cornell Nutrition Conf. for Feed Manufacture. pp 19. Rochester, NY.
27- Stern, M. D., K. A. Santos, and L. D. Satter. 1985. Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. Journal of Dairy Science, 68: 45–56.
28- Van Soest P. J., J. B. Robertsone, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysacacharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74: 3583-3597.

Iranian Journal of Animal Science Research
Vol. 11, No. 4, Winter 2020, p. 399-412

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
جلد 11، شماره 4، زمستان 1398، ص. 412-399

Effects of roasting and extruding heat processes on chemical composition, degradability fractions and intestinal digestibility of dry matter and crude protein of whole soybeans

H. Khorasani[1], M. Bashtani*[2], A. Forughi[3], H. FarhangFar[4] and F. Ganji[5]

Received: 13-03-2017
Accepted: 20-10-2018

Introduction: This research was undertaken to evaluate the effects of roasting and extruding heat processes on chemical composition, nitrogenous fractions, urease activity, metabolic protein, properties of degradability, and the ruminal- intestinal digestibility of dry matter and crude protein of raw and processed soybeans.

Materials and method: This study was carried out at the Research Farm, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran. During the extrusion process, soybeans were affected for 20-30 seconds at 150-160^{oC} in the extruder by heat and pressure and finally were dried and cooled. In the process of roasting, the soybean for 15 minutes at temperature of 145^{oC} was heated and for 45 minutes holding tank for heat storage remained. Seeds were dried and cooled by air flow, dry and cold. Approximate analysis of samples including dry matter, crude protein, crude fat and ash was determined by AOAC. The urease activity of raw and processed soybean was determined based on ISO-3896. Degradability parameters of the samples were measured after incubation for 0, 2, 4, 8, 16, 24 and 48 hours in the rumen of two fistulated Brown Swiss cows. Also, ruminal and post ruminal digestibility were determined with the incubation of samples for 12 hours in the rumen by Daisy system. The DM and CP degradation data were fitted by exponential equation: $P=a+b\ (1-e^{-ct})$. Effective degradability (ED) were calculated using of equation $ED = a + \{(cb)/(c + k)\}$ and taking into consideration passing rate (k) 0.04, 0.06 and 0.08 per hour.

Results and Discussion: The findings of the present research revealed that roasting and extruding heat processes lead to increase of dry matter through decreasing water content and that it had no significant effect on other chemical composition. The findings showed that the process of roasting and extruding caused the amount of actual protein of the soybean to increase and was not effective on the amount of insoluble nitrogen in neutral detergent of the soybean. The non-protein nitrogen and nitrogen dissolved in the buffer soybean under the influence of roasting and extruding decreased. The amount of acid detergent insoluble nitrogen soybean decreased which might be due to the removal of some of the shells in the processing soybean has taken place or influence of roasting and extruding decreased. The urease inhibitor of the soybean became inactive by the process of roasting and extruding.

1- MS.c Graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
2- Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
3- Associate Prof, Department of Animal Science, Agricultural Education Center of Khorasan Razavi, Iran.
4- Professor., Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
5- PhD Graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran.
Corresponding Author Email: mbashtani@birjand.ac.ir
DOI:10.22067/ijasr.v11i4.63238

Consequently, it caused intestinal protein digestibility to increase and affected by thermal process, the amount of metabolic protein of the soybean increased significantly, too. The process of roasting and extruding reduced the rapid part degradation of dry matter of the soybean (6.27 and 4.57 percent, respectively). Also, process of roasting and extruding caused the slow part of degradation to increase (of 63.75 to 74.73 and 63.25 to 85.82 percent, respectively). In addition, the rate constants degradation of dry matter of the soybean in rumen decreased (of 6.66 to 4.21 and 6.09 to 4.74 percent) under the influence of roasting and extruding. The process of roasting and extruding reduced the rapid part degradation of crude protein (38.4 and 68.4 percent, respectively) and the slow part of degradation to increase (17.3 and 26.1 percent, respectively), the rate constants degradation of crude protein of the soybean decreased (ranged from 7.61 to 3.79). Also, thermal processes reduced effective degradability of dry matter and crude protein of the soybean. Roasting and extruded with the reduction of the amount of ruminal disappearance and the increase of the post ruminal digestibility of dry matter and crude protein of soybean cased the degradability process of the soybean to be improved so that it transferred the place of the digestion of protein from the rumen to the small intestines and cased the amount of digestible of dry matter and crude protein in the intestine to increases. The increase of digestibility in the total digestive system shows that the reduction of ruminal digestion of soybean affected by the processes of roasting and extruding has been compensated by the increase of post ruminal digestibility.

Conclusion: The experiment results indicated that thermal processes of roasting and extrusion were an appropriate strategy for reduction the ruminal degradability of the soybean and the supply of passing protein needed by high milk producing dairy cows.

Keywords: Degradability, Extruding, Roasting, Metabolizable protein, Whole soybeans